



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑰ ⑯ Offenlegungsschrift  
DE 199 25 715 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 23 C 9/08

DE 199 25 715 A 1

⑯ Aktenzeichen: 199 25 715.9  
⑯ Anmeldestag: 7. 6. 1999  
⑯ Offenlegungstag: 14. 12. 2000

⑯ Anmelder:  
Köhne, Heinrich, Dr.-Ing., 52072 Aachen, DE

⑯ Erfinder:  
Köhne, Heinrich, Dr.-Ing., 52072 Aachen, DE; Jäger,  
Frank Kleine, 52146 Würselen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑯ Verfahren und Vorrichtung zur homogenen Vermischung von Verbrennungsluft und Verbrennungsabgasen  
⑯ Bei Brennern für flüssige, gas- und/oder staubförmige Brennstoffe kann durch Rezirkulation von Verbrennungsabgasen in die Verbrennungszone eine Abkühlung der Flamme und eine bessere Vermischung von Brennstoff und Verbrennungsluft erreicht werden. Dies führt zu einer Reduzierung der mittleren und der maximalen Temperatur in der Flamme, so daß die thermisch gebildete Stickoxidemission verringert wird. Insbesondere bei Einsatz vorgewärmer Verbrennungsluft kommt der Rezirkulation von Verbrennungsabgasen eine besondere Bedeutung zu.  
Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine homogene Vermischung der Verbrennungsluft mit rezirkulierten Verbrennungsabgasen, bevor eine Oxidation des Brennstoffes stattfindet. Darüber hinaus kann zur Steigerung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades zuvor rückgekühltes Verbrennungsabgas rezirkuliert werden.

DE 199 25 715 A 1

# DE 199 25 715 A 1

1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rezirkulation von Verbrennungsgasen mittels der Injektorwirkung der kovalent zugeführten Verbrennungsluft eines Brenners für flüssige, gas- und/oder staubförmiger Brennstoffe. Die vorzugsweise rückgekühlten Verbrennungsgase und die vorzugsweise vorgewärmte Verbrennungsluft werden dabei vor der Verbrennung mit dem Brennstoff homogen vermischt.

Außerdem bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens mit einer Verbrennungsluftzuführung, die über Injektorwirkung Verbrennungsgase rezirkuliert, Einrichtungen zur Luftleitung der Verbrennungsluft an den Ort der Vermischung mit dem Brennstoff, mit einer Brennstoffleitung und einem optionalen Wärmetauscher zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und zur Rückkühlung der Verbrennungsgase.

Bei Brennern für flüssige, gas- und/oder staubförmige Brennstoffe kann durch Rezirkulation von Verbrennungsabgasen in die Verbrennungszone eine Abkühlung der Flamme und eine bessere Vermischung von Brennstoff und Verbrennungsluft erreicht werden. Dies führt zu einer Reduzierung der mittleren und der maximalen Temperatur in der Flamme, so daß die thermisch gebildete Stickoxidemission verringert wird. Darüber hinaus wird mittels der Abgasrezykulation die Reaktionsgeschwindigkeit der Verbrennung reduziert und die Mischungszeit von Brennstoff mit dem Oxidator erhöht, so daß eine Homogenisierung des Brennstoff-Luft-Gemisches resultiert. Insbesondere bei der Verbrennung flüssiger Brennstoffe kann die Rezirkulation von Rauchgasen zur Verdampfung des Brennstoffes eingesetzt werden, so daß die unerwünschte Bildung von Ruß und Koks innerhalb des Verbrennungsprozesses reduziert werden kann.

Die Verbrennungsabgase können durch verschiedene Verfahren mit den Verbrennungsgasen oder der Verbrennungsluft gemischt werden. Eine Möglichkeit besteht in der "externen Abgasrezykulation", bei der die meist rückgekühlten Verbrennungsgase durch zusätzliche Gebläse in den Verbrennungsprozeß eingebbracht werden. Aufgrund der Materialprobleme der Leitungen, die mit dem Abgas beaufschlagt werden, wird die "interne Rezirkulation" von Abgasen bevorzugt. Dabei werden aufgrund der Injektorwirkung der Verbrennungsluft Abgase aus der Umgebung oder über Rezykulationsöffnungen in die Flamme eingesaugt und mit dem Brennstoff und der Verbrennungsluft vermischt. Bei blau brennenden Konzepten führt ein hoher Rezirkulationsmassenstrom im stationären Betrieb zu einer deutlichen Reduzierung der Stickoxidemission. Realisiert wird dies in der Praxis beispielsweise durch große Rezirkulationsöffnungen.

Problematisch bei der internen Rezirkulation von Abgasen ist die homogene Vermischung dieser Abgase mit den Verbrennungsgasen und/oder der Verbrennungsluft, die notwendige Bedingung zur Reduzierung der Stickoxidemissionen ist.

Aus der DE 39 30 569 A1 ist ein Brennerkopf bekannt, bei dem am stromaufliegenden Ende des Flammenrohrs Eintrittsöffnungen vorgesehen sind, durch welche aufgrund der Injektorwirkung der Strömung Verbrennungsabgase aus der Umgebung in das Flammenrohr gesaugt werden. Die Eintrittsöffnungen sind in der Wand des Flammenrohrs stromabseitig von der Mischkammerrückwand angeordnet. Eine Beeinflussung der Rezirkulationsfläche ist nicht vorgesehen. Die Einmischung der Rezirkulationsgase erfolgt über den Strahlrand der Reaktionszone/der Flamme. Es kommt jedoch nicht zur homogenen Vermischung beider Stoffströme, so daß die Bildung von Hot-Spots, die wesentlich zur Bildung thermischer Stickoxide beitragen, nicht vermieden werden kann.

2

Insbesondere bei dem Einsatz von Strahlrohrbrennern im Prozeßfeuerungsbereich spielt die Vorwärmung der Verbrennungsluft durch die Rückkühlung der Abgase innerhalb eines Rekuperators oder Regenerators eine wichtige Rolle 5 zur Steigerung des thermischen Wirkungsgrades.

Ein Ausführungsbeispiel ist ein Brenner mit flammenloser Oxidation (EP-0 463 218 A1). Dieser basiert auf der Rezirkulation hoher Mengen an Verbrennungsgasen durch Injektorwirkung der Verbrennungsluft. Die Einmischung der 10 rezirkulierenden Gase erfolgt auch hier über den Strahlrand direkt in den austretenden Volumenstrom bestehend aus der Verbrennungsluft und dem Brennstoff. Das Verbrennungsabgasrückführ- oder auch Rezirkulationsverhältnis  $r$  (Verhältnis von Verbrennungsabgasmassenstrom zu dem Massenstrom der Verbrennungsluft) beträgt in diesem Betriebszustand mindestens 2. Nachteilig bei diesem Verfahren ist jedoch die Tatsache, daß die Verbrennungsabgase auf einem hohen Temperaturniveau rezirkuliert werden und mit bereits vorgewärmter Verbrennungsluft vermischt werden. Dies führt zu der Notwendigkeit eines hohen Rezirkulationsverhältnisses, um die Bildung thermischer Stickoxide zu vermeiden. Zusätzlich werden die Rezirkulationsgase über den Strahlrand der austretenden Verbrennungsluft eingemischt, so daß eine direkte Einmischung in den Kernbereich der 15 Verbrennungsluft nicht gegeben ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die Einmischung von Verbrennungsabgasen derart zu realisieren, daß es trotz optionaler Vorwärmung der Verbrennungsluft und vorzugsweiser Rückkühlung der Verbrennungsabgase 20 zu einer homogenen Vermischung der Stoffströme Verbrennungsluft, Verbrennungsabgas und Brennstoff kommt, so daß eine geringe Bildung von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) die Folge ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß derart vorgegangen, daß durch die Injektorwirkung des Oxidators/des Oxidator-Brennstoff-Gemisches die Ansaugung der Verbrennungsabgase erfolgt und eine vollständige und homogene Vermischung der Verbrennungsabgase mit dem Oxidator oder dem 25 Oxidator-Brennstoff-Gemisch vorliegt, bevor es zur Oxidation des Brennstoffes kommt.

Dieses Verfahren arbeitet mit dem prinzipiellen Unterschied gegenüber anderen Konzepten der Abgasrezykulation, daß die Abgase trotz interner Rezirkulation, das heißt aufgrund der Injektorwirkung des Oxidators, an einem Ort mit dem Oxidator gemischt werden, an dem kein Umsatz des Brennstoffes gegeben ist und damit das Gemisch inert ist. Dieser Sachverhalt führt zu einer verbesserten Vermischung der Rezirkulationsgase mit dem Oxidator, so daß es 30 bei der weiteren Mischung mit dem Brennstoff zu einer Homogenisierung der Konzentrations- und Temperaturverteilung kommt und daher zum Zeitpunkt der Verbrennung des Brennstoffes die Bildung von Temperaturspitzen und damit der thermischen NO-Bildung deutlich verringert werden kann.

Zur Steigerung des thermischen Wirkungsgrades werden die Verbrennungsabgase zweckmäßigerweise rückgekühlt, wobei die abgegebene Wärme zweckmäßigerweise an die Verbrennungsluft übertragen wird. Dieser Sachverhalt bietet 35 den Vorteil, daß die rezirkulierten Verbrennungsgase auf einem verringerten Temperaturniveau zugeführt werden und gleichzeitig der gesamte thermische Wirkungsgrad erhöht wird. Gleichzeitig kann durch das erfindungsgemäße Verfahren die Temperatur der rezirkulierten Verbrennungsgase 40 gesenkt und damit im Vergleich zu dem Fall der Rezykulation heißer Rauchgase die notwendige Menge der rezirkulierten Verbrennungsgase zur Senkung der  $\text{NO}_x$ -Emission reduziert werden. Insgesamt ergeben sich im stationären Be-

trieb zweckmäßige Werte des Rezirkulationsverhältnisses  $r$  von  $0,4 < r < 1,5$ .

Eine vorteilhafte Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht die Wärmeübertragung zwischen der Verbrennungsluft und den Verbrennungsabgasen, die teilweise rezirkuliert werden, durch Gegenstrom-Führung vor. Die Wärmeübertragung zwischen beiden Stoffströmen ist auch im Gleichstrom ausführbar. Im Anschluß an die Wärmeübertragung der Verbrennungsabgase an die Verbrennungsluft erfolgt die Vermischung der vorzugsweise aus einem Ringspalt austretenden Verbrennungsluft mit den Verbrennungsabgasen, die vorzugsweise durch einen zum Ringspalt der Verbrennungsluft konzentrischen, innenliegenden Ringspalt eingesaugt werden.

Eine für den Brennerbetrieb notwendige Verstellung der Rezirkulationsmenge, die sich aufgrund der Forderung nach einem sicheren Brennerstart ergibt, kann über eine Verstellung des Öffnungsquerschnittes des Rezirkulationsspaltes erreicht werden. Diese kann über eine mechanische, elektrische oder andere Verschleieeinrichtung realisiert sein und die freie Querschnittsfläche zum Durchtritt der Rezirkulationsgase verändern.

Eine zur Durchführung des erläuterten Verfahrens eingerichtete Vorrichtung der eingangs genannten Art ist gemäß weiterer Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß durch eine entsprechende Ausführung der Verbrennungsluftzuführung die Rezirkulationsgasrückführung im stationären Betrieb mit einem Rezirkulationsverhältnis  $0,4 < r < 1,9$  durchgeführt wird, wobei durch Injektorwirkung der Verbrennungsluft die Ansaugung der Rezirkulationsgase erfolgt und eine homogene Vermischung beider Stoffströme vorliegt, bevor es zur Oxidation des Brennstoffes kommt.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen dieser Vorrichtung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele des Gegenstands der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Ablaufes des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 2 eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in schematischer Darstellung, in einer Seitenansicht.

Das neue Verfahren dient dazu, Verbrennungsluft und Verbrennungsabgase zu einem Zeitpunkt homogen zu vermischen, an dem noch keine Oxidation des Brennstoffes vorliegt. Der grundsätzliche Ablauf des Verfahrens soll zunächst anhand der Fig. 1 erläutert werden.

Ausgehend von dem Verbrennungsluft-/Oxidatormassenstrom und dem aus der Verbrennung resultierenden Abgasmassenstrom kommt es optional zur Vorwärmung der Verbrennungsluft von der Temperatur T1 auf die Temperatur T2. Gleichzeitig wird die Temperatur der Verbrennungsgase von der Temperatur T5 auf die Temperatur T6 reduziert. Die Differenz der Temperaturen T5 und T6 spiegelt das Potential der Wirkungsgradsteigerung des Prozesses wider.

Die Verbrennungsluft mit der Temperatur T2 wird im weiteren Verfahrensschritt mit einem Teilstrom der Verbrennungsabgase des Temperaturniveaus T6 – dieser entspricht dem Rezirkulationsmassenstrom – homogen gemischt, wobei sich nach der Zugabe des Brennstoffes die Temperatur T3 einstellt. Der Brennstoffmassenstrom kann wahlweise während des Mischungsvorganges oder nach Abschluß der homogenen Vermischung der Stoffströme zugegeben werden. Vor dem Teilmassatz/Oxidation des Brennstoffes ist die homogene Vermischung der Verbrennungsluft/des Oxidators mit den Verbrennungsabgasen abgeschlossen. Die Freisetzung der chemisch gebundenen Enthalpie des Brennstoffes führt zur mittleren Verbrennungstemperatur T4 und nach Abfuhr von Wärme an die Umgebung (z. B. an Wärmegut

und Wände, Heizkessel, etc.) kommt es zur Einstellung der Abgastemperatur T5.

In der Fig. 2 ist eine Vorrichtung zur homogenen Vermischung von Verbrennungsluft und Verbrennungsabgasen schematisch dargestellt. Sie zeigt einen Strahlrohrbrenner, bestehend aus einem Flammenrohr 1, dem Strahlrohr 2 und der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Die Verbrennungsluft strömt zunächst durch mindestens ein Oxidatorzuführrohr 5 und gelangt in den Wärmetauscher, der vorzugsweise mit Rippen 4 versehen ist, die Wärme an die Verbrennungsluft übertragen. Auf der der Verbrennungsluft gegenüberliegenden Seite des Wärmetauschers befinden sich weitere Rippen 5, die Wärme von den Verbrennungsabgasen an den Wärmetauscher übertragen. Vorzugsweise können beide Rippen 4 und 5 als Bauteil ausgeführt werden. Durch Einsatz einer optionalen Strömungsführung wird die Verbrennungsluft im Gegenstrom zum Verbrennungsabgas geführt, an dessen Ende umgelenkt und gelangt dann in die Vorrichtung zur homogenen Vermischung der Verbrennungsabgase und der Verbrennungsluft. Dieser besteht einerseits aus einem Ringspalt 14, durch den die optional vorgewärmte Verbrennungsluft strömt und der durch die zwei vorzugsweise kreisrunden Konen 10 und 11 gebildet wird. Aufgrund der Querschnittsverengung innerhalb dieses Ringspaltes 14 kommt es zu hohen Ausströmgeschwindigkeiten, welche eine Injektorwirkung auf die Verbrennungsabgase induzieren. Andererseits besteht die erfindungsgemäße Vorrichtung aus einer zweiten Öffnung 13, die vorzugsweise ebenfalls als Ringspalt ausgeführt ist und den äußeren Ringspalt 14, durch den die Verbrennungsluft ausströmt, konzentrisch umgibt. Dieser zweite, innenliegende Ringspalt 13 wird gebildet durch den Konus 10 und eine weitere Begrenzungsfläche, welche die Größe des Ringspaltes 13 definiert und vorzugsweise als Rohr 8 ausgeführt ist. Durch eine axiale Verschiebung der Konen 10 und 11 ist es möglich, die Austrittsfläche des Ringspaltes 14 zu verändern. Darüber wird die Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsluft und somit die Größe der Injektorwirkung und damit verbunden die Höhe des Rezirkulationsmassenstroms festgelegt. Unterstützt wird die Vermischung der vorhandenen Stoffströme durch den optionalen Einbau von Strömungsleitblechen 12 in den Mischungsraum. Das Rohr 8, welches die Brennstoffleitung 7 umgibt, kann zur Kühlung der Brennstoffleitung 7 benutzt werden, wobei dieser optional durch einen Teilluftstrom umspült werden kann, der zu einer konvektiven Wärmeabfuhr führt. Die Verbrennungsabgase verlassen das System durch den Auslaß 6.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermischen von Verbrennungsluft mit Verbrennungsabgasen zur Zugabe in einen Verbrennungsprozeß, bei dem Brennstoff mit vorzugsweise vorgewärmter Verbrennungsluft und vorzugsweise rückgekühlten Verbrennungsabgasen oxidiert wird, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Injektorwirkung des Oxidators, im folgenden Verbrennungsluft genannt/des Oxidator-Brennstoff-Gemisches die Ansaugung der Verbrennungsabgase erfolgt und eine vollständige und homogene Vermischung der Verbrennungsabgase mit dem Oxidator oder dem Oxidator-Brennstoff-Gemisch vorliegt, bevor es zur Oxidation des Brennstoffes kommt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennungsluft durch eine Öffnung, die vorzugsweise als Ringspalt ausgeführt wird, geführt wird und Verbrennungsabgase durch eine weitere Öffnung durch Injektorwirkung angesaugt werden, die

- vorzugsweise ebenfalls als Ringspalt ausgeführt ist und durch den äußeren Ringspalt, durch den die Verbrennungsluft ausströmt, konzentrisch umschlossen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennstoff vor, während oder nach der Vermischung der Verbrennungsluft mit den Verbrennungsabgasen zudosiert wird, wobei es jedoch nicht zur Oxidation des Brennstoffes kommt, bevor ein homogenes Verbrennungsluft-Verbrennungsabgas-Gemisch oder Verbrennungsluft-Verbrennungsabgas-Brennstoff-Gemisch vorliegt. 5
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennungsluft vor der Mischung mit den Verbrennungsabgasen im Gegenstrom aufgeheizt wird und anschließend mit einem Teilstrom der rückgekühlten Verbrennungsgase gemischt wird, wobei das Rezirkulationsverhältnis im stationären Betrieb Werte von  $0,4 < r < 1,5$  annimmt. 15
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß über eine Verstelleinrichtung die Querschnittsfläche der eintretenden Verbrennungsluft, welche die Injektorwirkung induziert, oder die Querschnittsfläche der angesaugten Verbrennungsabgase in der Größe verändert werden kann, so daß das Rezirkulationsverhältnis  $r$  variiert werden kann. 20
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer Verbrennungsluftzufuhr-Einrichtung, die über Injektorwirkung Verbrennungsabgase rezirkuliert, einer Abgasrückführung und einer Brennstoffzufuhr-Einrichtung und optional einem Wärmetauscher, welcher der Rückkühlung der Verbrennungsabgase dient, dadurch gekennzeichnet, daß die aus der Öffnung 14, welche durch die Flächen 11 und 10 definiert wird, austretende Verbrennungsluft aufgrund der Injektorwirkung zur Einsaugung von Verbrennungsabgasen durch die Öffnung 13, die durch die Öffnung 14 umschlossen wird, führt, und es aufgrund der anschließenden Vermischung der beiden Stoffströme zu einer homogenen Gemischbildung kommt, bevor eine Oxidation des vor, während oder nach dem Mischungsprozeß zudosierten Brennstoffes stattfindet. 30
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchtrittsflächen der Verbrennungsluft 14 und der Verbrennungsabgase 13 als Ringspalt ausgeführt sind und die Verstellung der Verbrennungsluftdurchtrittsfläche 14 durch eine Verschiebung der Flächen 10 und/oder 11 realisiert wird und damit zu einer Beeinflussung des Rezirkulationsverhältnisses  $r$  führt. 35
8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellung der Verbrennungsabgasdurchtrittsfläche 13 zu einer Beeinflussung des Rezirkulationsverhältnisses  $r$  führt und die Verbrennungsabgasdurchtrittsfläche 13 durch ein Rohr 8 begrenzt wird, welches die Brennstoffleitung umschließt und die Aufheizung des Brennstoffes reduziert und/oder verhindert. 40

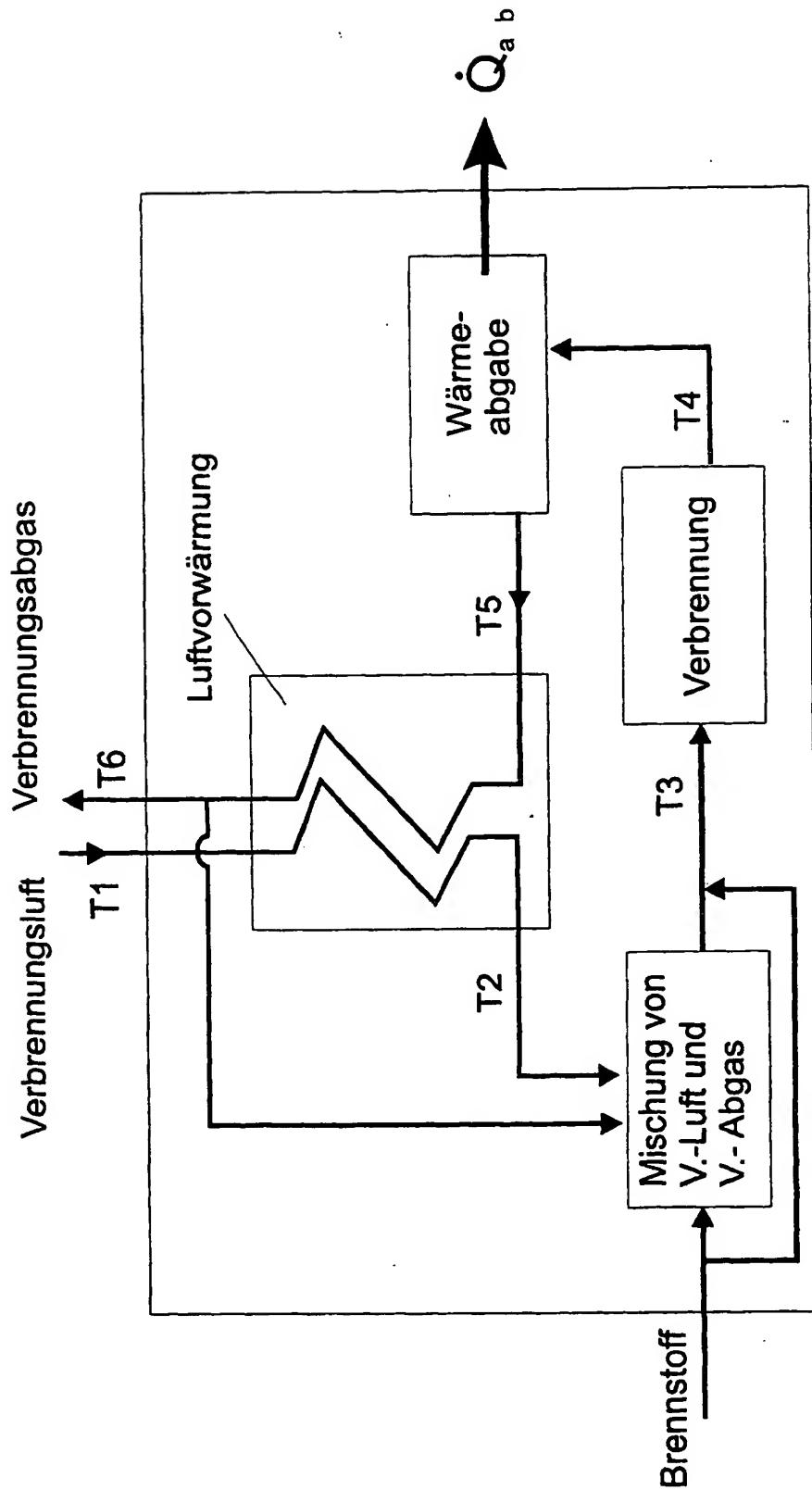


Fig. 1

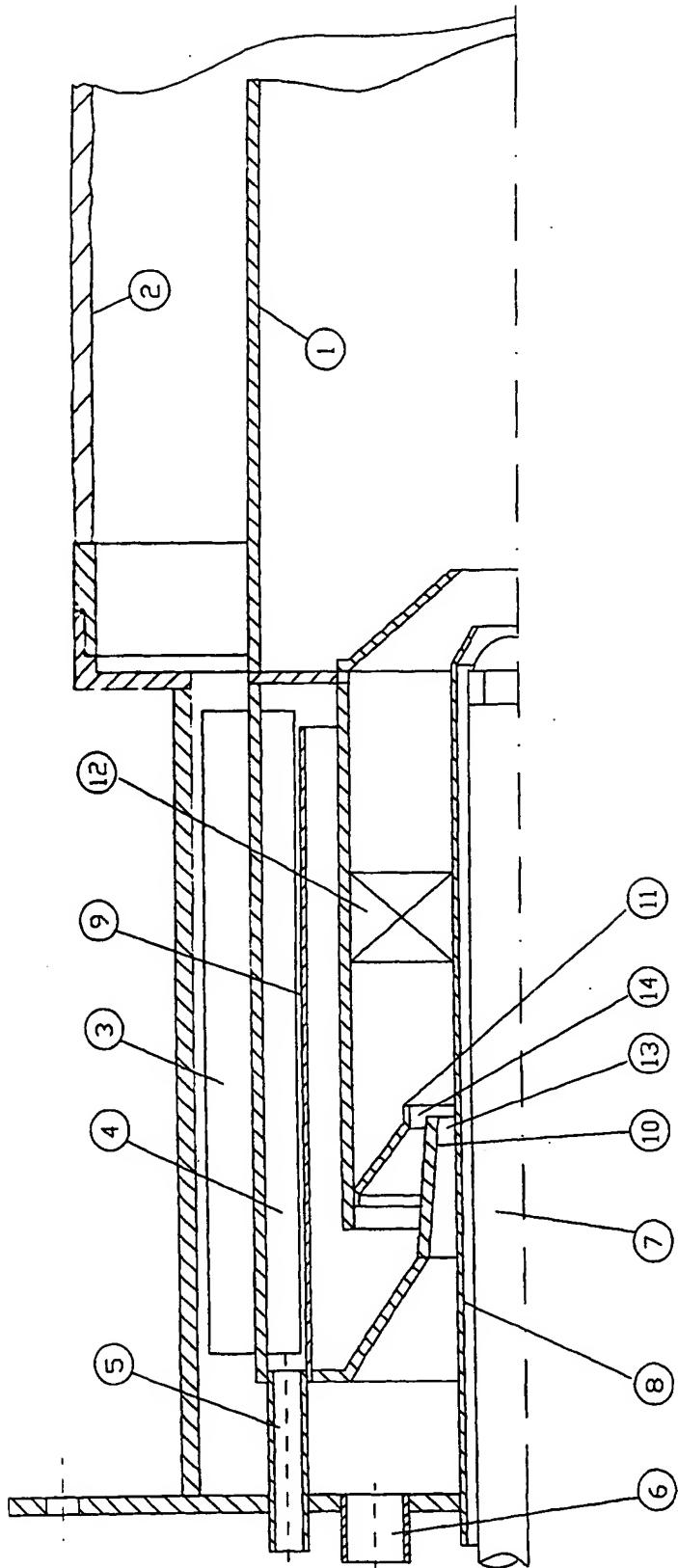


Fig. 2